

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-008412
(43)Date of publication of application : 10.01.1997

(51)Int.Cl. H01S 3/18
H01L 33/00

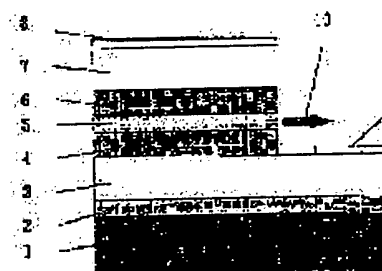
(21)Application number : 07-171575 (71)Applicant : NEC CORP
(22)Date of filing : 15.06.1995 (72)Inventor : NIDOU MASAOKI

(54) GALLIUM NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To reduce the threshold voltage of a semiconductor laser and to improve the luminous efficiency of a light-emitting diode.

CONSTITUTION: An $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ buffer layer 2, an N-type $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ clad layer 3, an N-type $\text{In}_{0.06}\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.79}\text{N}$ clad layer 4, an undoped GaN active layer 5 of 50nm in thickness, a P-type $\text{In}_{0.06}\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.79}\text{N}$ clad layer 6 and a P-type $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ cap layer 7 are successively grown on an orientation (0001) sapphire board 1, a P-side electrode 8 is formed on a P-type $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ cap layer 7 and an N-side electrode 9 is formed on the N-type $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ clad layer 3. In this constitution, the active layer 5 is formed in sufficient thickness, and tensile distortion is added thereon. Also, the light which is polarized to vertical direction of board surface is discharged to board surface in horizontal direction.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 15.06.1995
[Date of sending the examiner's decision of rejection]
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number] 2839077
[Date of registration] 16.10.1998
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

100

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-8412

(43) 公開日 平成9年(1997)1月10日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/18			H 0 1 S 3/18	
H 0 1 L 33/00			H 0 1 L 33/00	C

審査請求 有 請求項の数 6 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平7-171575

(22) 出願日 平成7年(1995)6月15日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 仁道 正明

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

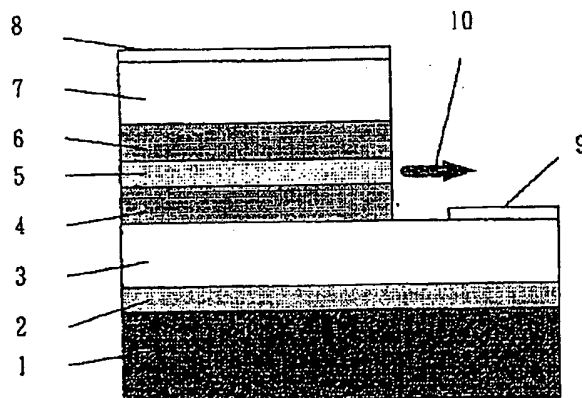
(74) 代理人 弁理士 尾身 祐助

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【目的】 半導体レーザのしきい値を低減する。発光ダイオードの発光効率を向上させる。

【構成】 (0001) 方位サファイア基板1上に、In_{0.06}Ga_{0.94}Nバッファ層2、n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層3、n型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層4、層厚50nmのアンドープGa_{0.94}N活性層5、p型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層6、p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層7を順次成長させ、p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層7上にp側電極8、n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層3上にn側電極9を形成する。上記の構成において、活性層5の膜厚を十分厚くするとともにこれに引っ張り歪が加わるようにする。また、基板面に垂直方向に偏光された光を基板面に水平方向に放射させる。



1 : (0001) 方位サファイア基板

2 : In_{0.06}Ga_{0.94}Nバッファ層

3 : n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層

4 : n型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層

5 : アンドープGa_{0.94}N活性層

6 : p型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板面に垂直な方向が〈0001〉方位となるウルツ鉱構造または基板面に垂直な方向が〈001〉方位となる閃亜鉛鉱構造の $Ga_xAl_{1-x}N$ 層（但し、 $0 \leq x \leq 1$ ）または In の組成比の低い $Ga_yAl_zIn_{1-y-z}N$ 層（但し、 $0 \leq y, z \leq 1, 0 < y+z < 1$ ）からなる量子井戸層を発光層とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、前記量子井戸層は10nm以上の膜厚を有するとともに引っ張り歪が加えられており、かつ、光が基板面に平行方向に取り出されることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項2】 出射光が基板面に垂直方向に偏光していることを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項3】 前記量子井戸層に加えられる引っ張り歪は、3%以下であることを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項4】 $InAlGa$ Nによりクラッド層またはクラッド層および多重量子井戸バリア層が形成されていることを特徴とする請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項5】 前記多重量子井戸バリア層にはp型不純物がドーピングされていることを特徴とする請求項4記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項6】 〈0001〉面を主面とするサファイア基板上または〈001〉面を主面とするGaAs基板上に、 $InGa$ Nバッファ層、 $InGa$ N外側クラッド層が形成され、その上に上記クラッド層および活性層が形成されていることを特徴とする請求項4記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子に関し、特に、発振しきい値の低い窒化ガリウム系化合物半導体レーザおよび動作電流が低くかつ発光効率に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光ダイオードの構造に関するものである。

【0002】

【従来の技術】窒化ガリウム系化合物半導体は、緑青色から紫外域にかけての光を発光できる材料として発光ダイオード、半導体レーザへの応用が期待され、従来より様々な報告がなされてきた。従来技術1として、以下の構造の窒化ガリウム系化合物半導体発光ダイオードが報告されている（例えば、S.Nakamura他、Applied Physics Letters, 64, 1687頁～1689頁, 1994年）。図16は、従来技術1による発光ダイオードの層構造を示す断面図である。

【0003】従来技術1による発光ダイオードは、図16に示すように、〈0001〉方位サファイア基板51上

に、 GaN バッファ層52、n型 GaN クラッド層53、n型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ クラッド層54、層厚50nmの Zn ドーピング $In_{0.06}Ga_{0.94}N$ 活性層55、p型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ クラッド層56、p型 GaN キャップ層57を成長させ、p型 GaN キャップ層57上にp側電極58、n型 GaN クラッド層53上にn側電極59を設けた構造になっている。発光ダイオードからの出射光60はp側電極側から取り出される。

【0004】この構造の発光ダイオードでは、20mAの電流で1.5mWの出力が得られている。 $In_{0.06}Ga_{0.94}N$ 活性層55における発光は、 Zn に関連した深い準位からの発光であり、活性層材料のバンドギャップよりも0.5eV程度小さいエネルギーを持つ。（0001）方位のサファイア基板51を用いた場合は、この上に積層した窒化ガリウム系化合物半導体は〈0001〉方位のウルツ鉱型の結晶構造を持つ。また、サファイア基板と GaN は16%程度の大きい格子不整合があるが、 GaN バッファ層52上に積層したn型 GaN クラッド層53は本来の GaN と同じ格子定数を持つため、n型 GaN クラッド層53はこの上に積層する半導体層に対して事実上の基板となる。従って、 $In_{0.06}Ga_{0.94}N$ 活性層55には0.7%程度の面内等方圧縮歪が加えられている。但し、この従来技術1では、活性層における格子歪は基本的な要件ではない。

【0005】一方、窒化ガリウム系化合物半導体以外の閃亜鉛鉱構造III-V属化合物半導体を用いた半導体レーザにおいては、活性層における面内等方歪を積極的に利用して発振しきい値の低減等の特性改善が行われている。例えば、従来技術として〈001〉方位 InP 基板上の1.5 μm 帯 $InGaAs/InGaAsP$ 歪量子井戸半導体レーザにおいて、このような面内等方歪の利用が図られている（例えば、P.J.A.Thijs 他、IEEE Journal of Quantum Electronics vol.27, No.6, 1426頁～1439頁, 1991年）。

【0006】図17に、従来技術2の圧縮歪量子井戸半導体レーザの層構造を、図18に、従来技術3の引っ張り歪量子井戸半導体レーザの層構造を、それぞれ示す。図17に示すように、従来技術2の半導体レーザは、〈001〉方位n型 InP 基板61上に、n型 InP クラッド層62、1.3 μm 波長組成のn型 $InGaAsP$ 光閉じ込め層63、1.3 μm 波長組成の $InGaAsP$ バリア層64と $In_{0.7}Ga_{0.3}As$ 量子井戸層65とを交互に4周期積層した多重量子井戸活性層、1.3 μm 波長組成のp型 $InGaAsP$ 光閉じ込め層66、p型 InP クラッド層67、p型 $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ キャップ層68を順次成長させ、p型 $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ キャップ層68上にp側電極69を、基板裏面にn側電極70を設けた構造となっている。基板を含めて、半導体層は全て閃亜鉛鉱構造である。量子井戸層65は InP 基板61より格子定数が大きく、1.2%の圧縮歪が加え

られている。

【0007】図18に示すように、従来技術3の半導体レーザは、(001) 方位n型InP基板71上に、n型InPクラッド層72、1.15 μ m波長組成のn型InGaAsP光閉じ込め層73、1.15 μ m波長組成のInGaAsPバリア層74とIn_{0.3}Ga_{0.7}As量子井戸層75とを交互に4周期積層した多重量子井戸活性層、1.15 μ m波長組成のp型InGaAsP光閉じ込め層76、p型InPクラッド層77、p型In_{0.53}Ga_{0.47}Asキャップ層78を順次成長させ、p型In_{0.53}Ga_{0.47}Asキャップ層78上にp側電極79、基板裏面にn側電極80を設けた構成になっている。基板を含めて、半導体層は全て閃亜鉛鉱構造である。量子井戸層75はInP基板71より格子定数が小さく、1.6%の引っ張り歪が加えられている。

【0008】図19に、(001) 方位InP基板上に積層した閃亜鉛鉱構造In_xGa_{1-x}AsのIn組成xと Γ 点バンドエネルギーの関係を示す。In組成xが0.53の時にIn_xGa_{1-x}AsはInP基板に格子整合する。x>0.53の時、In_xGa_{1-x}Asには圧縮歪が、x<0.53の時引っ張り歪がかかり、原子軌道 $(1/\sqrt{2})|(p_x + ip_y)\alpha\rangle$ と $(1/\sqrt{2})|(p_x - ip_y)\beta\rangle$ に由来するバンドが縮退したヘビーホールバンドと、原子軌道 $(1/\sqrt{6})|(p_x + ip_y)\beta\rangle - \sqrt{(2/3)}|p_z\alpha\rangle$ と $-(1/\sqrt{6})|(p_x - ip_y)\alpha\rangle - \sqrt{(2/3)}|p_z\beta\rangle$ に由来するバンドが縮退したライトホールバンドに価電子帯端が分裂する。

【0009】 p_x 、 p_y 、 p_z はそれぞれx、y、z方向を向いたp型原子軌道を表す。x、y、z方向はそれぞれ<100>、<010>、<001>方向である。 α 、 β は異なるスピン状態を表す。従来技術2のように圧縮歪を利用する場合は、価電子帯端はヘビーホールとなり、ライトホールとヘビーホールの分裂の結果ヘビーホールの量子井戸面内状態密度が減少して、少ないホール密度で利得が得られるために半導体レーザのしきい値が低下する。一方、従来技術3のように引っ張り歪を利用する場合は、価電子帯端はライトホールとなり、ライトホールの量子井戸面内状態密度は大きい、ライトホールと伝導帯の間のz方向の双極子モーメントがヘビーホールと伝導帯の間の双極子モーメントよりも30%程度大きい、少ないホール密度で利得が得られ、半導体レーザのしきい値が減少する。

【0010】従来技術2、3のいずれの場合にも、量子井戸に隣接するバリア層にpドーピングすることによって、電流未注入時のホール密度を高め、電流によるホール注入量を減少させて発振しきい値を減少させることができる。但し、1.3 μ m以上の長波長で発振する半導体レーザでは、オージェ効果による非発光再結合レート及び価電子帯間光吸収が大きいのでpドーピングの効果は小さい

か、発振しきい値をかえって上昇させる。従来技術2、3は、発振しきい値の低い半導体レーザのみならず、動作電流の低い発光ダイオードにも適用できる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】従来技術1のように、ドーピングによる活性層の深い準位からの発光を用いる場合は、バンド間発光に比べて発光スペクトルが広く、効率が低い。従って、従来技術1の構造を用いた場合レーザ発振は困難である。窒化ガリウム系化合物半導体においてもドーピングしないでバンド間発光を用いる場合は、閃亜鉛鉱構造III-V属化合物半導体を用いた従来技術2、3と同様にして、活性層における面内等方歪を積極的に利用して半導体レーザの発振しきい値の低減、あるいは発光ダイオードの動作電流の低減を図ることが考えられる。

【0012】しかしながら、窒化ガリウム系化合物半導体は閃亜鉛鉱構造だけでなくウルツ鉱構造をとることができ、ウルツ鉱構造の方が安定である。また、スピン軌道相互作用分裂エネルギーは、GaAs、InPの場合にはそれぞれ0.34eV、0.11eVと比較的大きいのに対して、GaNの場合には0.011eVと非常に小さい。従って、窒化ガリウム系材料の場合は、面内等方歪の効果はGaAs、InP系材料の場合とは異なったものになると予想される。

【0013】本発明の目的は、発光効率の高いバンド間発光を用い、かつ低い電流密度で大きい光出力の得られるウルツ鉱構造および閃亜鉛鉱構造の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を提供することにある。すなわち、緑青色から紫外域での高効率の発光ダイオードおよび半導体レーザを提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明によれば、基板面に垂直な方向が<0001>方位となるウルツ鉱構造または基板面に垂直な方向が<001>方位となる閃亜鉛鉱構造のGa_xAl_{1-x}N層(但し、0 \leq x \leq 1)またはInの組成比の低いGa_yAl_zIn_{1-y-z}N層(但し、0 \leq y、z \leq 1、0<y+z<1)からなる量子井戸層が発光層となる窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、前記量子井戸層は10nm以上の膜厚を有するとともに引っ張り歪が加えられており、かつ、光が基板面に平行方向取り出されることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子、が提供される。

【0015】

【作用】本発明者は、ウルツ鉱構造、閃亜鉛鉱構造窒化ガリウム系化合物半導体について、バンド構造に対する面内等方歪の効果を計算した。その結果、窒化ガリウム系化合物半導体においては面内等方歪の効果がウルツ鉱構造の場合は勿論閃亜鉛鉱構造のものにおいても他の閃亜鉛鉱構造III-V属化合物半導体とは異なることを見

出した。そして、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子への面内等方歪の応用方法を見出した。窒化ガリウム系化合物半導体については、面内等方歪のバンドに与える影響についての報告は極めて少ないため、スピナー軌道相互作用を取り入れた経験的強結合法を用いたバンド解析により、面内等方歪の閃亜鉛鉱構造(cubic 構造)/ウルツ鉱構造(hexagonal 構造) GaN (以下、それぞれ c-GaN、h-GaN と記す) のバンド構造に与える影響を予測した。図9(a)は、(001)方位基板上の c-GaN の Γ 点バンドエネルギーと面内等方歪量の関係を示す計算結果、図9(b)は、(0001)方位基板上の h-GaN の Γ 点バンドエネルギーと面内等方歪量の関係を示す計算結果、をそれぞれ示す。バンドは価電子帯端付近のものについてののみ示してあり、正の歪量は引張り歪(基板の格子定数 > GaN の格子定数)を表し、負の歪量は圧縮歪(基板の格子定数 < GaN の格子定数)を表す。

【0016】座標軸に関しては x、y 方向は基板面内にあり、z 方向は基板面に垂直方向である。c-GaN、h-GaN 共通に引張り歪(+歪)の場合にエネルギーの高い2重縮退(スピン縮退)のバンド45と、エネルギーの低い近接した2つの2重縮退のバンド46、47に分かれる。バンド45は主に基板面に垂直方向を向いた p 型原子軌道から、バンド46、47は主に基板面内方向を向いた p 型原子軌道から、それぞれ構成される。

【0017】一方、圧縮歪(-歪)の場合は、エネルギーの高い近接した2つの2重縮退のバンド48、49と、エネルギーの低い2重縮退のバンド50に分かれる。バンド48、49は主に基板面内方向を向いた p 型原子軌道から、バンド50は主に基板面に垂直方向を向いた p 型原子軌道からそれぞれ構成される。面内等方歪による価電子帯端の分裂状態は、図19に示した $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ の場合と大きく異なっていることが分かる。これは、主に GaN においてスピナー軌道相互作用分裂エネルギーが極めて小さいことによる。

【0018】次に、価電子帯端の状態密度を見るために、c-GaN、h-GaN のバンド構造(バンドエネルギーと結晶波数の関係: E-k 関係)を計算した。c-GaN について、図10(a)、(b)に無歪の場合の荷電子帯端付近での、それぞれ Γ 点から X 点方向(z 方向)、 Γ 点から K 点方向(x-y 面内)の E-k 関係を示す。バンドの縮重度は図中の括弧内の数字で表してある。図11(a)、(b)は圧縮歪(1%) c-GaN についての、図12(a)(b)は引張り歪(1%) c-GaN についての図10と同様の E-k 関係を示す。図10~図12より、バンドの縮重度、有効質量(バンドの曲率)を考えれば、価電子帯頂上の Γ 点付近の状態密度が最も小さくなるのは、引張り歪の場合であることが分かる。

【0019】h-GaN については、図13(a)、(b)に無歪の場合の荷電子帯端付近での、それぞれ Γ 点から A 点方向(z 方向)、 Γ 点から K 点方向(x-y 面内)の E-k 関係を示す。バンドの縮重度は図中の括弧内の数字で表してある。図14(a)、(b)は圧縮歪(1%) h-GaN についての、図15(a)、(b)は引張り歪(1%) h-GaN についての、図13と同様の E-k 関係を示す。図13~図15より、c-GaN の場合と同様に、バンドの縮重度、有効質量(バンドの曲率)を考えれば、価電子帯頂上の Γ 点付近の状態密度が最も小さくなるのは、引張り歪の場合であることが分かる。

【0020】また、c-GaN、h-GaN に共通に、引張り歪の場合は Γ 点価電子帯端は主として基板面に垂直方向(z 方向)を向いた p 型原子軌道から構成される。このため、z 方向の双極子モーメントは従来技術3の場合の z 方向双極子モーメントよりもさらに大きくなり、z 方向に偏光した光に対して大きな利得を生じる。但し、c-GaN、h-GaN に共通に、GaN 層の層厚が薄すぎると、z 方向の量子閉じ込め効果によって最低次ホールサブバンドの原子軌道が基板面内(x-y 方向)に向いた p 型原子軌道になるため、層厚をある程度大きく設定する必要がある。これは、z 方向を向いた p 型原子軌道を持つバンドの z 方向の有効質量が、x-y 面内方向を向いたり p 型原子軌道を持つバンドの z 方向の有効質量よりも小さいためである。従って、基板面に垂直方向の双極子モーメントを有効に利用するためには、活性層として多重量子井戸を用いる場合にも、各量子井戸層の層厚は 10 nm 以上とすることが望ましい。また、本発明においては、発光層(量子井戸層)の層厚が厚くなされたことにより、この層に加えられる引張り歪は 3% 以内に抑えることが望ましい。

【0021】以上の結果により十分に層厚の大きい引張り歪-GaN を活性層に用い、かつ z 方向に偏光する光を外部的に取り出すようにすれば、価電子帯端状態密度が最も小さくなること、双極子モーメントが大きいこと、の2つの効果により、半導体レーザの発振しきい値を大きく低減することができる。また発光ダイオードの場合は発光効率を大きく改善できる。但し、z 方向に偏光する光を外部的に取り出すためには x-y 面内方向に光を取り出す必要がある。

【0022】GaN 以外の窒化ガリウム系材料については、AlN はスピナー軌道相互作用分裂エネルギーが GaN よりも小さいと予想され、GaN と同様なバンド構造になると予想されるため、上に述べたと同様の方法により同様の効果を得ることが期待できる。これは、GaN と AlN の混晶についても同様である。InN は、スピナー軌道エネルギーが比較的大きい(0.09 V 程度)ため、GaN と GaAs の中間の特徴を持ったバンド構造になると予想されるが、In の混晶比が小さい InG

aAlNでは、GaNの場合と同様の方法により同様の効果が期待できる。

【0023】以上の結果より、窒化ガリウム系化合物半導体を発光層とする場合に、面内等方歪の利用の方法がInP、GaAs系材料における方法と異なっていることが分かる。さらに、上記の引っ張り歪の利用に加えて、p型ドーピングによって発光層に予めホールを蓄積しておけば、従来技術2、3と同様にして半導体レーザの発振しきい値をさらに下げることができる。但し、この場合は、発光層をバリア層と量子井戸層を交互に積層した多重量子井戸にして、バリア層のみにp型ドーピングする。

【0024】

【実施例】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。なお、以下の実施例においては、窒化ガリウム系半導体レーザについて説明を行う。

【第1の実施例】図1は、本発明の第1の実施例を示す半導体レーザの断面図である。図1に示されるように、本実施例の半導体レーザは、(0001)方位サファイア基板1上に、In_{0.06}Ga_{0.94}Nバッファ層2、n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層3、n型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層4、層厚50nmのアンドープGa_{0.79}N活性層5、p型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層6、p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層7を順次成長させ、p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層7上にp側電極8、n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層3上にn側電極9を形成して構成したものである。

【0025】半導体レーザからの出射光10は基板1面に平行な方向から取り出される。この半導体レーザでは、n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層3が事実上の基板となり、活性層5には0.7%程度の引っ張り歪が加えられている。この時のGaN活性層5周辺のΓ点でのバンド構造を図2に示す。価電子帯端は主に基板1面に垂直方向を向いたp型原子軌道に由来するバンド11であり、サファイア基板1面に平行方向を向いたp型原子軌道に由来するバンド12、13とΓ点において50meV程度離れている。

【0026】本実施例の半導体レーザでは、(0001)方位ウルツ鉱構造GaNを発光層とし、面内等方引っ張り歪を用いることによって、発光層の価電子帯端のバンドがΓ点において主として基板面に垂直方向を向いたp型原子軌道から構成されるようにし、かつ光を基板面に平行な方向から取り出すようにしたので、価電子帯端のホール状態密度が減少し、利用できる双極子モーメントが大きくなるために、発振しきい値を低減することができる。

【0027】【第2の実施例】図3は、本発明の第2の実施例を示す半導体レーザの断面図である。図3に示されるように、本実施例の半導体レーザは、(0001)方位サファイア基板1上に、In_{0.06}Ga_{0.94}Nバッファ層

2、n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層3、n型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層4、層厚10nmのp型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nバリア層14と層厚15nmのアンドープGa_{0.79}N量子井戸層15を交互に5周期積層した多重量子井戸活性層16、p型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層6、p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層7を順次成長させ、p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層7上にp側電極8、n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層3上にn側電極9を形成して構成したものである。

【0028】この半導体レーザではn型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層3が事実上の基板となり、量子井戸層15には0.7%程度の引っ張り歪が加えられている。この時の活性層16のΓ点でのバンド構造を図4に示す。量子井戸層15の価電子帯端は主に基板1面に垂直方向を向いたp型原子軌道に由来するバンド17であり、基板1面に平行方向を向いたp型原子軌道に由来するバンド18、19とΓ点において50meV程度離れている。更に、量子閉じ込め効果によりバンド17に由来するサブバンド20とバンド18、19に由来するサブバンド21、22が形成される。

【0029】バンド17のz方向の有効質量はバンド18、19のものよりも数倍小さいので、サブバンド20、21の間隔はバンド17、18の間隔50meVよりも小さくなるが、量子井戸層15の層厚が15nmと大きいのでその小さくなる量は小さい。また、バリア層14にはpドーピングされているので、ホールが量子井戸層15に蓄積される。

【0030】本実施例の半導体レーザでは、第1の実施例の活性層が量子井戸とバリア層を交互に積層した多重量子井戸となっており、発光層が量子井戸であり、かつバリア層のみにp型ドーピングが施されている。このように構成されているため、第1の実施例の効果に加えて、予め電流注入以前のホール濃度を高く設定しておくことができる。さらに発振しきい値を下げるができる。

【0031】【第3の実施例】図5は、本発明の第3の実施例を示す半導体レーザの断面図である。図5に示されるように、本実施例の半導体レーザは、(001)方位n型GaAs基板23上に、In_{0.06}Ga_{0.94}Nバッファ層24、n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層25、n型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層26、層厚50nmのアンドープGa_{0.79}N活性層27、p型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層28、p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層29を順次成長させ、p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層29上にp側電極30、基板裏面にn側電極31を形成して構成したものである。半導体レーザからの出射光32はGaAs基板23の主面に平行な方向から取り出される。

【0032】(001)方位閃亜鉛鉱型基板上に窒化ガリウム系材料を形成すると、基板面に垂直方向で〈001〉方

位となる窒化ガリウム系材料を得ることができる。この半導体レーザではn型InGa_{0.99}Nクラッド層25が事実上の基板となり、Ga_{0.99}N活性層27には0.7%程度の引っ張り歪が加えられている。この時のGa_{0.99}N活性層27付近のΓ点でのバンド構造を図6に示す。価電子帯端は基板23面に垂直方向を向いたp型原子軌道に由来するバンド33であり、GaAs基板23面に平行方向を向いたp型原子軌道に由来するバンド34、35とΓ点において70meV程度離れている。

【0033】この実施例の半導体レーザでは、閃亜鉛鉱構造Ga_{0.99}Nを発光層として面内等方引っ張り歪を用いることによって、発光層の価電子帯端のバンドがΓ点において主として基板面に垂直方向を向いたp型原子軌道から構成されるようにし、かつ光を基板面に平行な方向から取り出すようにしたので、価電子帯端のホール状態密度が減少し、利用できる双極子モーメントが大きくなるために、発振しきい値を低減することができる。

【0034】【第4の実施例】図7は、本発明の第4の実施例を示す半導体レーザの断面図である。図7に示されるように、本実施例の半導体レーザは、(001)方位n型GaAs基板23上に、In_{0.06}Ga_{0.94}Nバッファ層24、n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層25、n型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層26、層厚10nmのp型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nバリア層36と層厚15nmのアンドープGa_{0.99}N量子井戸層37を交互に5周期積層した多重量子井戸活性層38、p型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層28、p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層29を順次成長させ、p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層29上にp側電極30、基板裏面n側電極31を形成して構成したものである。半導体レーザからの出射光32はGaAs基板23の主面に平行な方向から取り出される。

【0035】この半導体レーザではn型InGa_{0.99}Nクラッド層25が事実上の基板となり、活性層37には0.7%程度の圧縮歪が加えられている。この時の活性層38付近のΓ点でのバンド構造を図8に示す。Ga_{0.99}N量子井戸層37の価電子帯端は基板23面に垂直方向を向いたp型原子軌道に由来するバンド39であり、基板23面に平行方向を向いたp型原子軌道に由来するバンド40、41とΓ点において70meV程度離れている。更に、量子閉じ込め効果によりバンド39に由来するサブバンド42とバンド40、41に由来するサブバンド43、44が形成される。

【0036】バンド39のz方向の有効質量はバンド40、41のものよりも数倍小さいので、サブバンド42、43の間隔はバンド39、40の間隔70meVよりも小さくなるが、量子井戸層37の層厚が15nmと大きいのでその小さくなる量は小さい。また、バリア層36にはpドーピングされているので、ホールが量子井戸層15に蓄積される。本実施例の半導体レーザでは、先の

第3の実施例の半導体レーザにおける活性層が量子井戸層とバリア層を交互に積層した多重量子井戸となっており、発光層が量子井戸層であり、かつバリア層のみがp型にドーピングされている。このように構成された本実施例の半導体レーザでは、第3の実施例の効果に加えて、予め電流注入以前のホール濃度を高く設定しておくことができさらに発振しきい値を下げるができる。

【0037】【実施例の拡張】以上好ましい実施例について説明したが、本発明はこれら実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された要旨から逸脱しない範囲内において適宜の変更が可能なるものである。例えば、実施例では、発光層をGa_{0.99}Nにより構成していたが、これに代えIn組成比の小さいIn_{0.99}N、Ga_{0.99}N、Al_{0.01}Nの混晶を用いてもよい。また、本発明は、半導体レーザに限るものではなく、動作電流が低くても光出力が大きい窒化ガリウム系半導体発光ダイオードを得るためにも用いることができる。

【0038】

【発明の効果】以上説明したように、本発明による窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、量子井戸層である発光層を十分な厚さの(001)または(001)方位の層とするとともに面内等方引っ張り歪を加え、かつ光を基板面に平行方向から取り出すようにしたものであるので、荷電子帯端のホールの状態密度を減少させることができるとともに大きい双極子モーメントを利用することができるようになる。したがって、本発明によれば、半導体レーザのきい値を低減することができ、また、発光ダイオードの発光効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の半導体レーザの断面図。

【図2】第1の実施例の半導体レーザの活性層付近のΓ点バンド構造を示す図。

【図3】本発明の第2の実施例の半導体レーザの断面図。

【図4】第2の実施例の半導体レーザの活性層付近のΓ点バンド構造を示す図。

【図5】本発明の第3の実施例の半導体レーザの断面図。

【図6】第3の実施例の半導体レーザの活性層付近のΓ点バンド構造を示す図。

【図7】本発明の第4の実施例の半導体レーザの断面図。

【図8】第4の実施例の半導体レーザの活性層付近のΓ点バンド構造を示す図。

【図9】閃亜鉛鉱構造およびウルツ鉱構造Ga_{0.99}Nにおける面内等方歪とΓ点バンドエネルギーの関係を示す特性曲線図。

【図10】閃亜鉛鉱構造無歪Ga_{0.99}Nのバンド構造(エネルギー-波数関係)を示す特性曲線図。

【図11】閃亜鉛鋅構造1%圧縮歪Ga_{0.99}Nのバンド構造（エネルギー-波数関係）を示す特性曲線図。

【図12】閃亜鉛鋅構造1%引っ張り歪Ga_{0.99}Nのバンド構造（エネルギー-波数関係）を示す特性曲線図。

【図13】ウルツ鋅構造無歪Ga_{0.99}Nのバンド構造（エネルギー-波数関係）を示す特性曲線図。

【図14】ウルツ鋅構造1%圧縮歪Ga_{0.99}Nのバンド構造（エネルギー-波数関係）を示す特性曲線図。

【図15】ウルツ鋅構造1%引っ張り歪Ga_{0.99}Nのバンド構造（エネルギー-波数関係）を示す特性曲線図。

【図16】従来技術1の発光ダイオードの断面図。

【図17】従来技術2の半導体レーザの断面図。

【図18】従来技術3の半導体レーザの断面図。

【図19】InP基板上のIn_xGa_{1-x}AsにおけるIn組成xとΓ点バンドエネルギーの関係を示す特性曲線図。

【符号の説明】

- 1、51 (0001) 方位サファイア基板
- 2、24 In_{0.06}Ga_{0.94}Nバッファ層
- 3、25 n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層
- 4、26 n型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層
- 5、27 アンダーブGaN活性層
- 6、28 p型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層
- 7、29 p型In_{0.06}Ga_{0.94}Nキャップ層
- 8、30、58、69、79 p側電極
- 9、31、59、70、80 n側電極
- 10、32 半導体レーザからの出射光
- 11、17、33、39、45、50 基板面に垂直方向を向いたp型原子軌道に由来するバンド
- 12、13、18、19、34、35、40、41、46、47、48、49 基板面内方向を向いたp型原子軌道に由来するバンド

14、36 p型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nバリア層

15、37 アンダーブGaN量子井戸層

16、38 多重量子井戸活性層

20、42 基板面に垂直方向を向いたp型原子軌道に由来するバンドから形成されるサブバンド

21、22、43、44 基板面内方向を向いたp型原子軌道に由来するバンドから形成されるサブバンド

23 (001) 方位n型GaAs基板

52 GaNバッファ層

53 n型GaNクラッド層

54 n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層

55 ZnドーブIn_{0.06}Ga_{0.94}N活性層

56 p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層

57 p型GaNキャップ層

60 発光ダイオードからの出射光

61、71 (001) 方位n型InP基板

62、72 n型InPクラッド層

63 1.3μm波長組成のn型InGaAsP光閉じ込め層

64 1.3μm波長組成のInGaAsPバリア層

65 In_{0.7}Ga_{0.3}As量子井戸層

66 1.3μm波長組成のp型InGaAsP光閉じ込め層

67、77 p型InPクラッド層

68、78 p型In_{0.53}Ga_{0.47}Asキャップ層

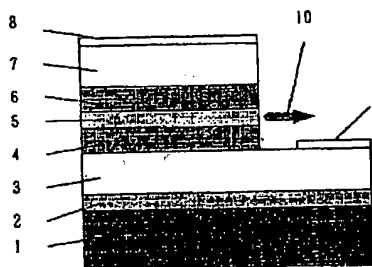
73 1.15μm波長組成のn型InGaAsP光閉じ込め層

74 1.15μm波長組成のInGaAsPバリア層

75 In_{0.3}Ga_{0.7}As量子井戸層

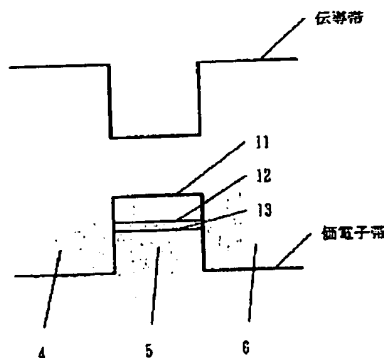
76 1.15μm波長組成のp型InGaAsP光閉じ込め層

【図1】

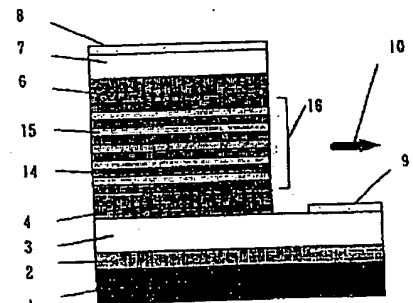


- 1: (0001) 方位サファイア基板
- 2: In_{0.06}Ga_{0.94}Nバッファ層
- 3: n型In_{0.06}Ga_{0.94}Nクラッド層
- 4: n型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層
- 5: アンダーブGaN活性層
- 6: p型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nクラッド層

【図2】

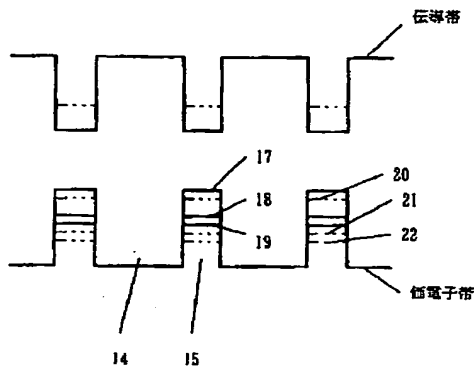


【図3】

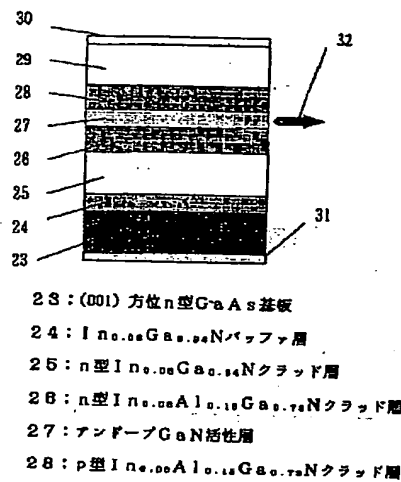


- 14: p型In_{0.06}Al_{0.15}Ga_{0.79}Nバリア層
- 15: アンダーブGaN量子井戸層
- 18: 多重量子井戸活性層

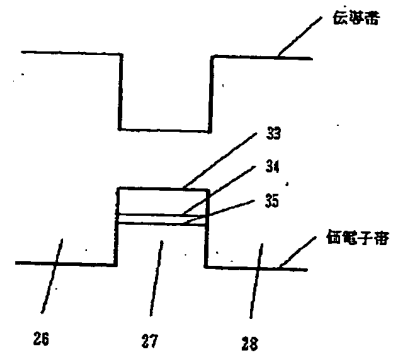
【図4】



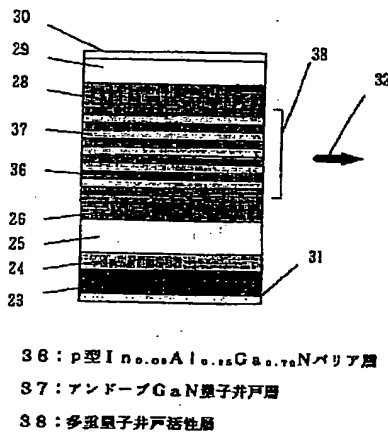
【図5】



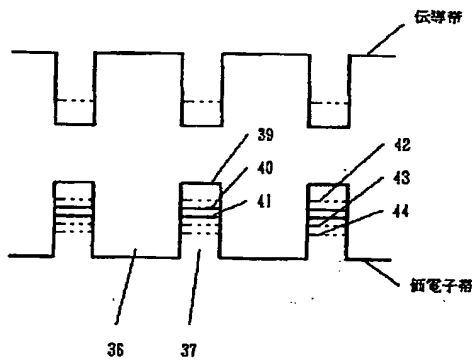
【図6】



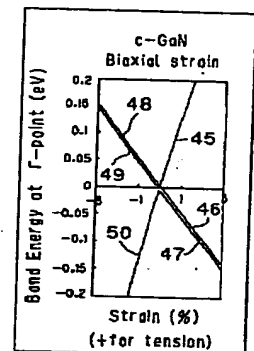
【図7】



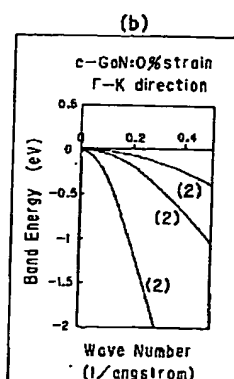
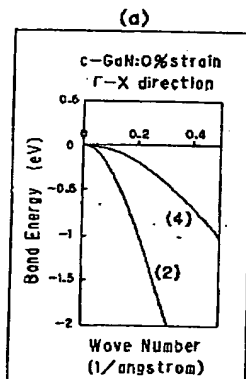
【図8】



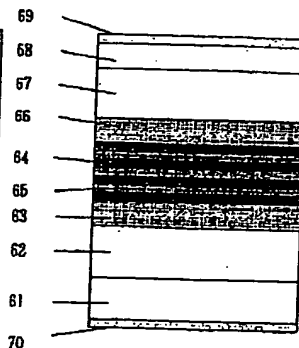
【図9】



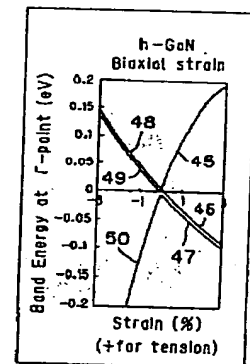
【図10】



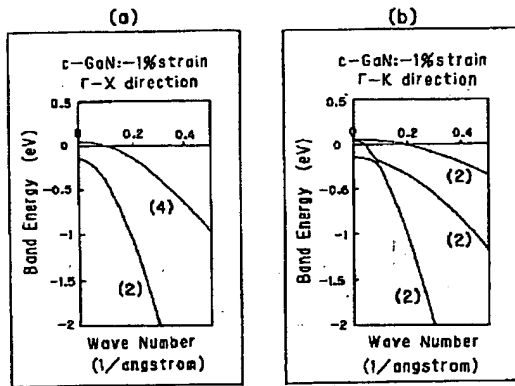
【図17】



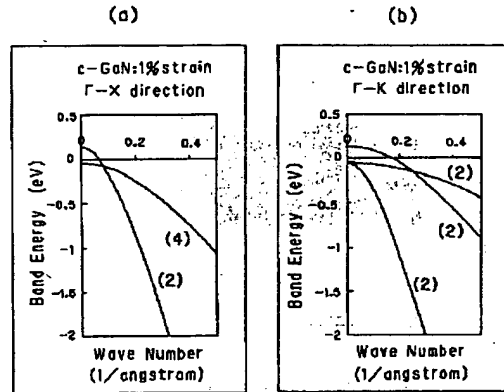
(b)



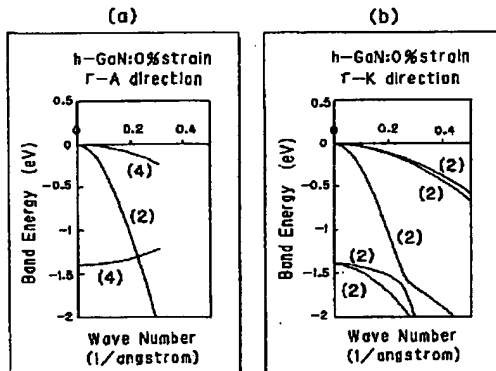
【図11】



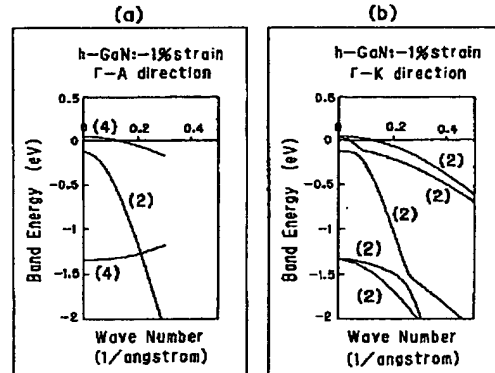
【図12】



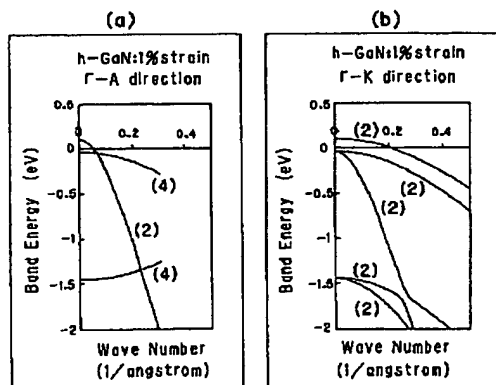
【図13】



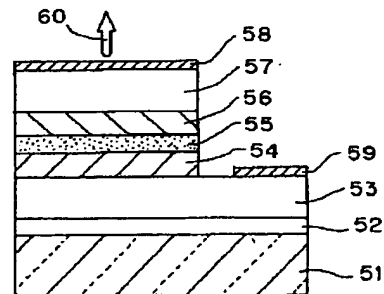
【図14】



【図15】

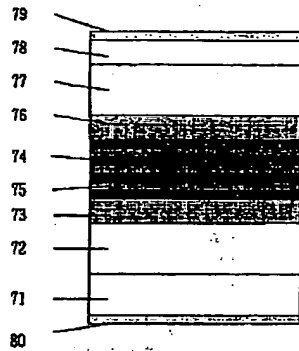


【図16】



- 51…(0001)方位サファイア基板
 52…GaNバッファ層
 53…n型Ga_{0.95}Nクラッド層
 54…n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 55…ZnドーピングIn_{0.06}Ga_{0.94}N活性層
 56…p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 57…p型Ga_{0.95}Nクラッド層
 58…Ga_{0.95}Nクラッド層
 59…Ga_{0.95}Nクラッド層
 60…Ga_{0.95}Nクラッド層

【図18】



- 81、71: (001)方位n型InP基板
 62、72: n型InPクラッド層
 63: 1.3 μ m波長組成のn型InGaAsP光閉じ込め層
 64: 1.3 μ m波長組成のInGaAsPバリア層

【図19】

